

THE SYSTEM SOLUTION OF PROBLEMS OF THE REACTIVE POWER COMPENSATION AT THE ENTERPRISES OF THE FOOD INDUSTRY

V.Ye. Shesterenko, O.A. Mashchenko, O.V. Dan'ko

National University of Food Technologies

Key words:	ABSTRACT
reactive power, power supply system, systematic approach, the control system, compensation.	The paper considers ways to improve effectiveness of reactive power compensation at food enterprises by applying the two-level system of reactive power sources control. The proposed systematic approach to compensation allows improving the economic performance of all reactive power sources significantly. The system of complex compensation provides a shift in the emphasis of reactive power sources capacity management: from decentralizing to ensuring the system commitment in solving problem. System takes into consideration the requirements of power supply system at the interface of power supply systems and consumers' ones, and simultaneously considers power regulation of high-voltage capacity units, batteries for voltage lower than 1000 V, the level of reactive power, which is produced by synchronous engines. Recommendations on the system implementation in the industry are stated.
Article history: Received 30.05.2014 Received in revised form 10.06.2014 Accepted 3.11.2014	
Corresponding author: tmipt_xp@ukr.net	

СИСТЕМНЕ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

В.Є. Шестеренко, канд. техн. наук

О.А. Мащенко, О.В. Данько[®]

Національний університет харчових технологій

В статті розглянуто шляхи підвищення ефективності компенсації реактивної потужності на харчових підприємствах шляхом застосування дворівневої системи керування джерелами реактивної потужності. Запропонований системний підхід до компенсації дозволяє суттєво підвищити економічні показники всіх джерел реактивної потужності. Система комплексної компенсації забезпечує зміну в акцентах керування потужностями джерел реактивної потужності від децентралізації до забезпечення системної цілеспрямованості вирішення проблеми. Подані рекомендації по впровадженню системи на промислових підприємствах.

Ключові слова: реактивна потужність, система електропостачання, системний підхід, система керування, компенсація.

Вступ. Більшість підприємств харчової промисловості характеризуються компактністю, мають централізовану систему електропостачання, лише цукрові заводи — комбіновану. Електроприймачі на цих заводах відносяться до другої категорії надійності. Крім того, основне виробництво заводів займає невелику територію (за винятком насосних станцій). Вони мають мережу живлення напругою 35...10 кВ, високовольну розподільчу мережу — напругою 6...10 кВ. Потужність трансформаторів на таких заводах перевищує, як правило, 750 кВ·А, а тому на них обов'язково необхідно передбачити компенсацію реактивної потужності.

Для живлення підприємств використовують радіальну ЛЕП напругою 10...35 кВ, в містах їх підключають до магістральних кільцевих мереж. При компенсації реактивної потужності найбільшого поширення дістали конденсатори. Невелика маса, відсутність частин, що обертаються, незначні втрати енергії, простота обслуговування, безпечність і надійність в експлуатації дозволяють використовувати конденсатори для компенсації реактивної потужності на всіх ступенях системи електропостачання [1—5]. Використання синхронних двигунів для компенсації дозволяє зменшити кількість інших компенсуючих пристроїв.

Матеріали і методи. Застосування конденсаторних установок (КУ) напругою 6...10 кВ [1—5] на підприємствах харчової промисловості, що мають невелику потужність і різні характеристики системи електропостачання, призводить до завантаження мережі підприємства реактивною потужністю та до збільшення втрат енергії. При цьому, як правило, економічний ефект від компенсації буде тільки в мережах енергосистеми, а не підприємства.

Більше того, енергосистема може застосовувати штрафні санкції до підприємства, оскільки маючи тільки високовольтні КУ досить великої потужності, часто без регулювання потужностей, підприємство не зможе витримати задані енергосистемою величини реактивних потужностей в режимах максимуму та мінімуму. Так цукрові заводи працюють біля трьох місяців на рік, але число годин використання максимуму досягає 2500 годин, а коефіцієнт форми графіка близький до одиниці. М'ясокомбінати мають систему електропостачання, що відповідає вимогам першої категорії надійності, оскільки сировина та продукція на них мають високу вартість і при аварійному відключенні спостерігатимуться суттєві збитки.

Молокозаводи працюють протягом року, але мають графік навантаження, що характеризується великою неоднорідністю і незначним числом годин використання максимуму. Мають специфічні графіки навантаження хлібокомбінати, комбінати хлібопродуктів, пивзаводи, тощо. Критерієм раціонального вирішення задачі компенсації реактивної потужності є мінімум приведених витрат. Вони складаються з витрат на компенсуючі, регулюючі та супутні пристрої, з витрат на регулювання реактивної потужності та передачу її по елементах мережі. Ці витрати включають складові, що не залежать від величини реактивної потужності, а тому була розроблена методика визначення потужності компенсуючих пристроїв, що не потребує врахування абсолютних значень вартості елементів системи електропостачання [2, 3].

Результати і обговорення. Енергопостачальна організація задає режим роботи компенсуючих пристроїв підприємства. Потужність нерегульованих конденсаторних батарей приймається за найменшим реактивним навантаженням мережі. Як правило, слід застосовувати багатоступеневе регулювання.

Регулювання по реактивній потужності є ідеальним методом з багатьох точок зору. Регулятор вмикається у вузлі живлення мережі. Конденсаторна установка може бути багатосекційною, а регулювання вестись з достатньою точністю згідно графіка реактивного навантаження. Регулювання по часу доби — простий та ефективний спосіб регулювання. Сигнал для комутації секцій КУ посилає таймер з відповідною програмою. Програма розробляється на основі ретроспективного аналізу графіків навантаження. Якщо реальний графік буде відрізнятися від розробленої моделі, метод може дати значні похибки в регулюванні [1, 2].

Ступінчасто-регульоване джерело реактивної потужності (ДРП) являє собою конденсаторну установку, що складається з певної кількості конденсаторів, підімкнених до загальних шин через контактори чи напівпровідникові ключі (зустрічно-паралельно ввімкнені тиристри).

Основний принцип плавного регулювання закладений у зміні кута провідності чи часу, протягом якого тиристор залишається відкритим і пропускає струм. При зменшенні кута провідності зменшується ефективне значення першої гармоніки струму, що тече через конденсатор, а отже й потужність, яку віддає КУ у мережу. Зміна кута провідності тиристорів у колі з КУ не можна здійснювати зміною кута керування, тобто зміною моменту їх відкриття. Таке регулювання, як відомо, супроводжується значними кидками вільного струму і практично ніякого ефекту регулювання на дає [1, 5]. Плавне регулювання КУ, обладнаної тиристорним вимикачем, досягається шляхом штучного вимкнення тиристорів. Умови вимкнення тиристора утворюються тоді, коли напруга стає від'ємною чи потенціал катода перевищує потенціал анода. Для виконання вказаного співвідношення потенціалів служить спеціальний пристрій — джерело імпульсів струму для примусового закривання тиристорів.

Перераховані характеристики розглянутого вище ДРП пов'язані між собою і залежать від параметрів мережі, в яку ДРП ввімкнені. Так, розширення діапазону регулювання спричинює погіршення гармонічного складу струму ДРП. До подібного ефекту приводить

зростання співвідношення між установленою потужністю ДРП і потужністю короткого замикання в точці його установки, що може сприяти виникненню резонансних явищ. Для плавного способу регулювання існує практично доцільний обмежений діапазон, який має за потужністю верхню та нижню межу [2, 3, 5].

Комбіноване регулювання конденсаторних батарей ґрунтується на поєднанні двох способів регулювання — ступінчастому та плавному. Таке поєднання дозволяє використовувати їхні найкращі якості й діставати нові вищі характеристики регульованого статичного джерела реактивної потужності [3, 5]. В основу принципу покладено поєднання кількох ступенів КУ, керованих тиристорами, зі ступенем, в межах якого реактивна потужність змінюється плавно. Спосіб плавної зміни реактивної потужності може бути різним, або це КУ, що вмикається тиристорним вимикачем і вимикається за допомогою спеціального джерела керованих імпульсів струму, або це постійно ввімкнена КУ, потужність якої дорівнює одиничній потужності ступеня, паралельно якій ввімкнений такої самої потужності керований тиристором реактор. Таке вмикання дозволяє плавно набирати потужність від нуля до границі, що дорівнює потужності ступеня, а потім за допомогою відповідної системи керування та синхронізації вводити перший ступінь, у той самий час знижуючи до нуля потужність плавно регульованого ступеня. У проміжку між ступенями потужність статичного компенсатора дорівнює потужності нижчих ступенів і потужності плавно регульованого ступеня. Так само здійснюється і зниження потужності. У разі форсування вмикаються усі ступені й плавно регульований ступінь на своє максимальне значення. Якщо необхідний повний скид потужності, що видається, система керування та синхронізації вимикає як ступінь статичного компенсатора, так і плавно регульовану секцію [1,5].

Треба зазначити, що завдяки такому принципу керування статичний ДРП з комбінованим регулюванням має таку саму швидкодію, як і плавний і ступінчастий ДРП, але на відміну від ступінчастого ДРП, дозволяє регулювати реактивну потужність плавно, а на відміну від плавно регульованого ДРП не викликає у мережі значних спотворень форми кривої напруги. Серед недоліків такого способу регулювання можна зазначити необхідність застосування старанно настроєної системи керування та синхронізації [1, 4].

У сучасних схемах застосовують способи розподілення компенсуючих пристроїв по вузлах мережі: пропорційно реактивним навантаженням вузлів, за мінімумом зведених витрат, за мінімумом втрат енергії [1, 2, 3]:

Для вибору КУ необхідно мінімізувати функцію

$$f = \sum_{i=1}^n r_i \left[\sum_{j=1}^i (Q_j - Q_{KYj}) \right]^2 + \sum_{j=1}^i \sum_{e=1}^i K_{je}, \quad (1)$$

де Q_j — математичне очікування реактивної потужності навантаження в j — му вузлі навантаження, K_{je} — кореляційний момент випадкових величин $Q(t)$ та $Q_e(t)$.

Місцеве регулювання з допомогою індивідуальних регуляторів дозволяє до мінімуму знизити втрати енергії у мережах споживача, що викликані перетоками реактивної потужності. Проте такий вид регулювання не дозволяє врахувати режим роботи енергосистеми, і конденсаторні установки споживача можуть бути вимкнені в періоди нестачі реактивної потужності в енергосистемі.

На централізоване регулювання, що виконується увімкненням конденсаторних установок до системи керування енергосистеми, у даний час покладаються великі надії. Але ця система потребує значної кількості датчиків і каналів зв'язку, що є складною задачею. Крім того, централізоване регулювання враховує, в основному, інтереси енергосистеми й може призвести до завищення втрат енергії у мережах окремих споживачів [1, 2].

Критерієм оптимальності при оперативному керуванні компенсацією є мінімум втрат електроенергії. Суттєвим резервом підвищення ефективності може бути система комплексної компенсації реактивної потужності, що створена на базі сучасних технічних та обчислювальних засобів [2, 3]. Система дозволяє змінити акценти в керуванні потужностями компенсуючих пристроїв від децентралізації до забезпечення системної цілеспрямованості вирішення проблеми, що концептуально пов'язана з оптимізацією режиму електроспоживання на промисловому підприємстві.

Система комплексної компенсації реактивної потужності передбачає облік вимог енергосистеми на межі розділу енергопостачальних та мереж споживачів і одночасно регулювання потужності високовольтних конденсаторних установок, батарей на напругу

нижче 1000 В, рівня реактивної потужності, що видається синхронними двигунами. Для підвищення коефіцієнта потужності застосовані конденсаторні установки. За допомогою регуляторів реактивної потужності змінюють реактивну потужність конденсаторних батарей, компенсуючих пристроїв (або синхронних двигунів) [1, 2, 3].

Для мінімізації втрат і точнішого виконання вимог енергосистеми відносно реактивної потужності сигнал, що надходить на регулятори у лініях мережі, зростає швидше у часі. При цьому відбувається перемикання малопотужних конденсаторних установок, що викличе зміни коефіцієнта потужності. Якщо новий коефіцієнт відповідає вимогам енергосистеми щодо величини споживаної реактивної потужності, напруга на виході задавального регулятора падає до нуля і сигнали також зменшуються.

Коли перемикає у лініях недостатньо, через певний час сигнал сягне рівня, який викличе перемикання ступеня конденсаторної установки на головній ділянці (або зміни режиму роботи синхронних двигунів). Після такого перемикання можливі комутації малопотужних установок у лініях мережі для точнішої підтримки потрібного значення реактивної потужності. Якщо сигнал відповідає вимозі підімкнути додаткову секцію батареї, а t_{gr} у лінії близький до нуля, підімкнення не відбудеться. Додаткові секції підімкнуться лише у тих лініях, де власна реактивна потужність скомпенсована не повністю. Таким чином, у лініях мережі підтримуватиметься коефіцієнт потужності, близький до оптимального. І тільки тоді, коли вся потужність конденсаторної установки на головній ділянці буде використана, можливе зростання сигналу до такого рівня, що конденсаторні установки у лініях перемикатимуться незалежно від сигналу місцевих здавачів [2, 3].

Суттєвою перевагою дворівневого способу регулювання потужності джерел реактивної потужності є комплексність керування потоками реактивної потужності та одночасність регулювання всіх джерел реактивної потужності підприємства. Проте на відміну від дистанційного регулювання, де за сигналом з диспетчерського пункту здійснюється перемикання незалежно від t_{gr} у вітці, даний спосіб пропонує враховувати рівні двох сигналів — від місцевого давача і від задавального регулятора. Перемикання секцій конденсаторних батарей відбувається вибірково, в окремих вітках і тільки за певних рівнів сигналів. Споживання реактивної потужності протягом доби нерівномірне. Режим роботи всіх джерел реактивної потужності повинен відповідати графіку споживання реактивної потужності. Найменші питомі втрати мають конденсаторні батареї напругою вище 1000 В. Найбільші — синхронні двигуни невеликої потужності. Чим менші втрати в компенсуючих пристроях, тим вигідніше використовувати їх в тривалому режимі роботи і навпаки, компенсуючі пристрої з більшими втратами варто підключати короткочасно. Наприклад, для покриття реактивних навантажень в години максимуму енергосистеми, а також для покриття піків графіка [2, 3, 5].

Таким чином, в тривалому, базовому, режимі варто використовувати високовольні компенсуючі пристрої. Регульовані компенсуючі пристрої напругою 0,4 кВ та синхронні двигуни з низькими втратами (великої потужності, швидкохідні) для покриття основного графіка, синхронні двигуни з високими питомими втратами тільки для компенсації короткочасних піків графіка.

Впровадження системи комплексної компенсації реактивної потужності на харчових підприємствах дозволяє знизити сплату за споживання реактивної енергії на 92 %, зменшити втрати активної потужності на 14 % і суттєво поліпшити якість напруги.

Висновки. 1. Системам компенсації реактивної потужності підприємств притаманна ієрархічна структура та висока складність. Критерієм оптимальності при оперативному керуванні компенсацією є мінімум втрат електроенергії.

2. Суттєвим резервом підвищення ефективності може бути система комплексної компенсації реактивної потужності, що створена на базі сучасних технічних та обчислювальних засобів. Система дозволяє змінити акценти в керуванні потужностями КУ від децентралізації до забезпечення системної цілеспрямованості вирішення проблеми, що концептуально пов'язана з оптимізацією режиму електроспоживання на промисловому підприємстві.

3. Система комплексної компенсації дозволяє підтримувати потоки реактивної потужності в елементах системи електропостачання на оптимальному рівні, з максимальним ефектом використовувати встановлені джерела реактивної потужності, оскільки не допускається вимкнення КУ в періоди дефіциту реактивної потужності у вузлі мережі.

4. Аналіз режимів роботи систем електропостачання цукрових заводів, виконаний авторами, показав, що діапазон регулювання КУ на ТП, які працюють тільки у виробничий

період і відключаються в ремонтний період, не перевищує 25—30 % розрахункової потужності КУ. Завдяки цим дослідженням можна суттєво знизити вартість КУ, комплектуючи конденсаторну установку з нерегульованої частини та регульованої.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шестеренко, В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств: підруч. // В.Є. Шестеренко.— Вінниця: Нова Книга, 2011. — 656 с
2. Шестеренко, В.Є. Оптимізація систем електроспоживання промислових підприємств: Монографія /В.Є. Шестеренко — К.: ЧП «Глана», 2001. — 214 с.
3. Shesterenko, V. Reactive power compensation in the combined system of sugar refinery electricity/ V.Shesterenko , I.Sydorchuk, // Ukrainian food journal. — 2013. — Volume 2, Issue 1. — P.116—122
4. Патент України № 34943, Н02J 3/12. — Спосіб підключення конденсаторів індивідуальної компенсації реактивної потужності асинхронного двигуна — //Шестеренко В.Є., Сірий О.М., Балюта С.М., Мащенко О.А. — Опубл.26.08.2008. Бюл. № 16.
5. Шестеренко, В.Є. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового та дипломного проектування// В.Є. Шестеренко, О.В.Шестеренко. — Київ: 2013. — 424 с.
6. Shesterenko, V. Research of the features of reactive power compensation in the combined system of food industry// V.Shesterenko , I.Sydorchuk, Ukrainian Journal of Food Science. — 2013. — Volume 1, Issue 1, — P. 89—95.

СИСТЕМНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.Е. Шестеренко, О.А. Мащенко, О.В. Данько

Национальный университет пищевых технологий

В статье рассмотрены пути повышения эффективности компенсации реактивной мощности на пищевых предприятиях путем применения двухуровневой системы управления источниками реактивной мощности. Предложенный системный подход к компенсации позволяет существенно повысить экономические показатели всех источников реактивной мощности. Система комплексной компенсации обеспечивает изменение в акцентах управления мощностями источников реактивной мощности от децентрализации к обеспечению системной целенаправленности решения проблемы. Даны рекомендации по внедрению системы на промышленных предприятиях.

Ключевые слова: реактивная мощность, система электроснабжения, системный подход, система управления, компенсация.